

DT05 Rec'd PCT/PTO 27 DEC 2004

DOCKET NO.: 263878US2PCT

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

IN RE APPLICATION OF: Kenji FUKUDA, et al.

SERIAL NO.: NEW U.S. PCT APPLICATION

FILED: HEREWITH

INTERNATIONAL APPLICATION NO.: PCT/JP03/08146

INTERNATIONAL FILING DATE: June 26, 2003

FOR: SEMICONDUCTOR DEVICE AND METHOD OF MANUFACTURING SAME

**REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119  
AND THE INTERNATIONAL CONVENTION**Commissioner for Patents  
Alexandria, Virginia 22313

Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicant claims as priority:

<b><u>COUNTRY</u></b>	<b><u>APPLICATION NO</u></b>	<b><u>DAY/MONTH/YEAR</u></b>
Japan	2002-189161	28 June 2002

Certified copies of the corresponding Convention application(s) were submitted to the International Bureau in PCT Application No. PCT/JP03/08146. Receipt of the certified copy(s) by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

Respectfully submitted,  
OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Marvin J. Spivak  
Attorney of Record  
Registration No. 24,913  
Surinder Sachar  
Registration No. 34,423

Customer Number

**22850**

(703) 413-3000  
Fax No. (703) 413-2220  
(OSMMN 08/03)

Rec'd PET/PTO 27 DEC 2006

PCT/JP03/08146

07.08.03

日本国特許庁

JAPAN PATENT OFFICE

10/517772

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

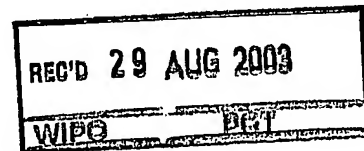
This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2002年 6月28日

出願番号  
Application Number: 特願2002-189161

[ST. 10/C]: [JP 2002-189161]

出願人  
Applicant(s): 独立行政法人産業技術総合研究所

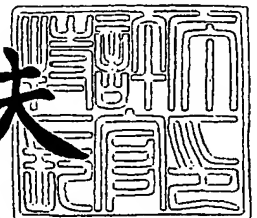


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 8月 1日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



Best Available Copy

出証番号 出証特2003-3061637

【書類名】 特許願  
【整理番号】 216-02094  
【提出日】 平成14年 6月28日  
【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿  
【国際特許分類】 H01L 21/477  
【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内

【氏名】 福田 憲司

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内

【氏名】 先崎 純寿

【特許出願人】

【識別番号】 301021533

【氏名又は名称】 独立行政法人産業技術総合研究所

【代表者】 吉川 弘之

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体装置の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体領域上にゲート絶縁膜を形成する工程と、そのゲート絶縁膜上にゲート電極を形成する工程と、上記の半導体領域に電極を形成する工程とを含む半導体装置の製造方法において、

半導体領域は、(000-1)面の炭化珪素からなる領域が形成された半導体領域であり、

さらに、該半導体領域の表面を清浄にする工程と、

800℃から1150℃の温度範囲において、 $H_2O$  (水) ガスを1%以上含んだ雰囲気中でゲート絶縁膜を形成することにより、ゲート絶縁膜と上記の半導体領域の界面の界面準位密度を低減せしめる工程とを含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 2】 800℃から1050℃の温度範囲において、 $H_2O$  ガスを含んだ雰囲気でのゲート絶縁膜の形成が行われることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 3】 半導体領域上にゲート絶縁膜を形成する工程と、そのゲート絶縁膜上にゲート電極を形成する工程と、上記の半導体領域に電極を形成する工程とを含む半導体装置の製造方法において、

半導体領域は、(000-1)面の炭化珪素からなる領域が形成された半導体領域であり、

さらに、該半導体領域の表面を清浄にする工程と、

ゲート絶縁膜を形成する工程と、

そのゲート絶縁膜を形成した後に、 $H_2$  (水素) ガスあるいは $H_2O$  (水) ガスを含んだ雰囲気中で熱処理することにより、上記のゲート絶縁膜と上記の半導体領域の界面の界面準位密度を低減せしめる工程とを含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 4】 半導体領域上にゲート絶縁膜を形成する工程と、そのゲート絶縁膜上にゲート電極を形成する工程と、上記の半導体領域に電極を形成する工程

とを含む半導体装置の製造方法において、

半導体領域は、(000-1)面の炭化珪素からなる領域が形成された半導体領域であり、

さらに、該半導体領域の表面を清浄にする工程と、

ゲート絶縁膜を形成する工程と、

そのゲート絶縁膜を形成した後に、 $\text{H}_2\text{O}$  (水) ガスを含んだ雰囲気中で熱処理した後に $\text{H}_2$  (水素) ガスを含んだ雰囲気中で熱処理することにより、上記のゲート絶縁膜と上記の半導体領域の界面の界面準位密度を低減せしめる工程とを含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項5】 ゲート絶縁膜を形成した後に行う熱処理は、 $\text{H}_2$  (水素) ガスと不活性ガスとの混合ガス中で行われ、その $\text{H}_2$  (水素) ガス濃度は、予め決められた1%ないし100%のいずれかの濃度をもつことを特徴とする請求項2あるいは3に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項6】 ゲート絶縁膜を形成した後に行う熱処理は $\text{H}_2\text{O}$  (水) ガスと不活性ガスとの混合ガス中で行われ、その $\text{H}_2\text{O}$  (水) ガス濃度は予め決められた1%ないし100%のいずれかの濃度をもつことを特徴とする請求項2あるいは3に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項7】 ゲート絶縁膜を形成する工程と、 $\text{H}_2$  (水素) ガスあるいは $\text{H}_2\text{O}$  (水) ガスを含んだ雰囲気中で熱処理する工程との間に、予め決められた温度の不活性雰囲気中に予め決められた時間上記の半導体領域を保持する熱処理工程を含むことを特徴とする請求項3、5、あるいは6に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項8】 ゲート絶縁膜を形成する工程と、 $\text{H}_2\text{O}$  (水) ガスを含んだ雰囲気中で熱処理する工程との間の第1の期間に、あるいは、 $\text{H}_2\text{O}$  (水) ガスを含んだ雰囲気中で熱処理する工程と、 $\text{H}_2$  (水素) ガスを含んだ雰囲気中で熱処理する工程との間の第2の期間に、予め決められた温度の不活性雰囲気中で予め決められた時間上記の半導体領域を保持する熱処理工程を含むことを特徴とする請求項4、5あるいは6に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項9】  $\text{H}_2\text{O}$  ガスを含んだ雰囲気中で熱処理する際の温度よりも、 $\text{H}_2$  ガ

スを含んだ雰囲気中で熱処理する際の温度の方が高いことを特徴とする請求項 4、5、6 あるいは 8 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 10】 ゲート絶縁膜を形成する工程の後に行う  $\text{H}_2\text{O}$ （水）ガスを含んだ雰囲気中で熱処理する工程は、 $650^\circ\text{C}$  から  $950^\circ\text{C}$  の範囲の予め決められた温度で予め決められた時間保持する工程であることを特徴とする請求項 3 ないし請求項 9 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 11】 ゲート絶縁膜を半導体領域の熱酸化法により形成することを特徴とする請求項 3 ないし請求項 10 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 12】 半導体領域の熱酸化法は、 $\text{H}_2\text{O}$ （水）ガスを含んだ雰囲気で行われる熱酸化法であることを特徴とする請求項 11 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 13】  $\text{H}_2\text{O}$ ガスを含んだ雰囲気が  $\text{H}_2\text{O}$ ガスと酸素あるいは、 $\text{H}_2\text{O}$ ガスと酸素ガス及び不活性ガスからなり、 $\text{H}_2\text{O}$ ガスが 1% から 100% の範囲の予め決められた濃度であることを特徴とする請求項 12 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 14】 ゲート絶縁膜を形成した後に、 $\text{H}_2$ ガスを含んだ雰囲気中で熱処理をする場合に、 $\text{H}_2\text{O}$ ガスを含んだ雰囲気が  $\text{H}_2\text{O}$ ガスと酸素ガスあるいは、 $\text{H}_2\text{O}$ ガスと酸素ガス及び不活性ガスからなり、 $\text{H}_2\text{O}$ ガスが 10% から 50% の予め決められた濃度であることを特徴とする請求項 13 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 15】 上記の  $\text{H}_2\text{O}$ （水）ガスは、上記の半導体領域の置かれた雰囲気において  $\text{H}_2$ （水素）ガスと  $\text{O}_2$ （酸素）ガスの反応により生成されたものであることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 14 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 16】  $\text{H}_2$ （水素）ガスの流量、 $[\text{H}_2]$ 、と  $\text{O}_2$ （酸素）ガスの流量、 $[\text{O}_2]$ 、の比が  $[\text{O}_2] / [\text{H}_2] = 0.1$  から 100 の範囲の予め決められた範囲にあることを特徴とする請求項 15 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 17】 半導体領域の酸化温度が  $800^\circ\text{C}$  から  $1150^\circ\text{C}$  の範囲の予

め決められた温度範囲にあることを特徴とする請求項 3 ないし請求項 16 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 18】 半導体領域を熱酸化してゲート酸化膜を形成した後に、 $H_2O$  ガスを含んだ雰囲気中で熱処理をする場合に、熱処理温度が、ゲート酸化膜を形成した温度よりも低い温度で行い、ゲート酸化膜厚を増加することを特徴とする請求項 11 ないし請求項 17 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 19】  $H_2$  (水素) ガスを含んだ雰囲気での熱処理温度が  $600^{\circ}C$  から  $900^{\circ}C$  の範囲の予め決められた温度範囲にあることを特徴とする請求項 3 ないし請求項 18 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 20】 ゲート絶縁膜の形成及びその後の  $H_2$  (水素) ガスあるいは  $H_2O$  (水) ガスあるいは不活性ガス雰囲気での熱処理は、外気と遮断された装置内で連続して行われることを特徴とする請求項 3 ないし請求項 19 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 21】 半導体領域の表面を清浄にする工程は、オゾン雰囲気中に置かれた半導体領域に紫外光を照射することにより清浄にする工程を含むことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 20 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 22】 半導体領域の表面を清浄にする工程は、 $H_2$  (水素) 雰囲気中で熱処理することにより清浄にする工程を含むことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 21 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 23】 半導体領域の表面を清浄にする工程は、オゾン雰囲気に置かれた半導体領域に紫外光を照射して清浄にする工程と、その後に行われる、半導体領域を  $H_2$  (水素) ガス雰囲気中で熱処理することにより清浄にする工程とを含むことを特徴とする請求項 22 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 24】 層間絶縁膜を形成する工程と、配線層を形成する工程と、配線層を保護する絶縁膜を形成する工程とをさらに含む事を特徴とする請求項 1 ないし請求項 23 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 25】  $H_2$  (水素) ガスを含んだ雰囲気での熱処理を、ゲート絶縁膜より上の層にゲート電極層を形成した後に行うことを特徴とする請求項 3 ないし請求項 24 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項26】  $H_2$ （水素）ガスを含んだ雰囲気での熱処理を行う工程を含み、さらに、この工程の後に、 $600^{\circ}C$ 以下での不活性ガス雰囲気中で熱処理を行う工程を含むことを特徴とする請求項3ないし請求項25のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、基板の結晶面方位を規定した炭化珪素基板上に形成する半導体装置の製造方法に関し、特に、金属—酸化膜—半導体（MOS）キャパシタあるいはMOS電界効果型トランジスタ（MOSFET）などのゲート絶縁膜を用いる半導体装置の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

一般に、炭化珪素（SiC）基板を用いた酸化膜—炭化珪素界面は、界面準位密度がシリコンMOSトランジスタに比べて、約一桁高く、それにより、炭化珪素基板を用いたMOS電界効果型トランジスタは、シリコン基板を用いたMOS電界効果型トランジスタよりもチャネル移動度が約1桁低いという問題があった。特に4H-SiCと呼ばれる結晶構造を有する炭化珪素のバルク基板の移動度は、6H-SiCと呼ばれる結晶構造を有する炭化珪素のバルク基板の移動度の約2倍だが、酸化膜／炭化珪素界面の欠陥（界面準位密度）が多く、チャネル移動度は低い。4H-SiCバルク基板の移動度は高いので、本来、パワーMOSFETのオン抵抗を下げるには有利であるはずである。しかし、チャネル移動度が低いために、4H-SiCのオン抵抗値は、6H-SiCよりも高く、4H-SiCのMOS構造の界面準位密度を下げることは、SiCのMOSFETを実現するためには非常に重要である。SiCには、代表的な面として（0001）面、（11-20）面、（000-1）面の3つの面がある。酸化速度は、（0001）面よりも（11-20）面の方が大きく、またこれよりも（000-1）面の方が大きい。特に、（000-1）面は、（0001）面よりも約10倍大きい。これは、SiとCの酸化機構が面方位によって異なるためである。した



がって、酸化膜／炭化珪素界面における界面準位密度を下げる最適な酸化条件や酸化後のアニール条件は、面方位によって異なり、面方位毎に酸化条件や酸化後のアニール条件を最適化する必要がある。SiCのMOSFETは、研究当初においては、(0001)面に形成されていたが、そのチャネル移動度は、 $10\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以下であった。

#### 【0003】

最近、SiCの(11-20)面に $\text{H}_2\text{O}$ （水）でゲート絶縁膜を形成した後に、水素アニールをすることにより界面準位密度を下げて、チャネル移動度が $110\text{ cm}^2/\text{Vs}$ まで向上することが報告された。しかし、(11-20)面は、絶縁破壊電界が(0001)面や(000-1)面と比較して小さく、高耐圧パワーデバイスには不利である。また、(000-1)面に作製されたMOSFETがチャネルドーピング技術を用いることなく動作する報告はない。チャネルドーピング技術は、チャネル移動度を向上するが、リーク電流が流れやすくなり、耐圧が低下するので、やはり、高耐圧パワーデバイスには向いていない。本発明では、絶縁破壊電圧が、(11-20)面よりも大きい(000-1)面において、(0001)面よりもチャネル移動度が高い酸化膜／炭化珪素界面形成技術を提供する。

#### 【0004】

炭化珪素基板の酸化方法とその後の熱処理方法については、以下に説明する様に、既にいくつかの発表が行われ、あるいは発明が開示されている。

#### 【0005】

例えば、特開平9-199497号公報には、SiC単結晶基板の熱酸化膜の改善方法において、酸化する工程に続き、水素によりアニールする工程と、不活性ガスによりアニールする工程を有することを特徴とするヒステリシスおよびフラットバンドシフトを低減するSiCの熱酸化膜の改善法が開示されている。この公報には、特に、炭化珪素を酸化後に $1000^\circ\text{C}$ で水素熱処理する方法が記載されているが、これは、炭化珪素基板の(0001)面についての方法であり、(000-1)面については記載がない。さらに、 $1000^\circ\text{C}$ では温度が高すぎて水素により酸化膜が還元されてしまい、この酸化膜をゲート酸化膜として用い

た場合のデバイス信頼性を低下させる要因となる。

#### 【0006】

また、特開平10-112460号公報には、炭化珪素半導体装置の熱酸化膜形成後の界面準位密度を低減するために、熱酸化後の不活性ガス中のアニール時間を2時間未満とし、また、一度形成した熱酸化膜を300～500℃の低温で水素ガスや、水蒸気等の水素原子を含むガス中で熱処理するのもよく、更にまた、熱酸化後および熱酸化後の熱処理工程後の冷却期間の少なくとも一部で、水素原子を含むガスを雰囲気とする炭化珪素半導体装置の製造方法が開示されている。特に、ゲート酸化膜形成後に水素原子を含む雰囲気で300℃から500℃の範囲において熱処理する方法が記載されているが、これは、炭化珪素基板の(001)面についての方法であり、(000-1)面については記載がない。また、ゲート酸化膜形成後に水素原子を含む雰囲気での熱処理としては、300℃から500℃の範囲は温度が低くて不充分である。

#### 【0007】

また、特開平11-31691号公報には、炭化珪素半導体装置の熱酸化膜形成後の界面準位密度を低減するために、(1)水素ガスと酸素ガスを導入して熱酸化するパイロジェニック酸化によって酸化珪素膜を成長させる熱酸化膜形成方法において、水素と酸素の流量比を1:1よりも水素の流量が多い流量比とし、あるいは、(2)酸化後の冷却を水素原子を含む雰囲気中でおこない、その冷却速度を0.3～3℃/minの範囲とし、あるいは、(3)酸化、冷却後の取り出し温度を900℃以下とする炭化珪素半導体装置の熱酸化膜形成方法が開示されている。特に、炭化珪素の酸化をパイロジェニック法で行った後に、水素を含む雰囲気中で冷却する方法が記載されているが、これは、炭化珪素基板の(001)面についての方法であり、(000-1)面については記載がない。また、この公報に記載されたパイロジェニック法の水素と酸素の比が最適でない。

#### 【0008】

また、特開2000-252461号公報には、少なくとも最上層に炭化珪素を有する半導体基板上に、ゲート絶縁膜として酸化膜及び/或は窒化膜の1層又は2層以上を形成した後、600～1600℃の範囲で水素を含んだ雰囲気中でア

ニールする半導体装置の製造方法が開示されており、ゲート絶縁膜／炭化珪素界面に存在するシリコン或は炭素のダングリングボンドを水素で終端することにより、界面準位密度を十分に減らして、実際の使用に十分に耐える良好なゲート絶縁膜／炭化珪素界面を得ることができる、という効果が記載されている。特に、炭化珪素基板上的酸化膜を形成した後に水素熱処理を行う製造方法が記載されているが、これは、炭化珪素基板の(0001)面についての方法であり、(000-1)面についての望ましい水素熱処理方法についての記載はない。

#### 【0009】

また、アメリカ合衆国特許(USA. PAT. No. US5972801号公報)においては、改善された酸化物層を得て、その結果、酸化物を基礎とする装置でのパフォーマンスを改善する方法が開示されている。その方法は、炭化珪素基板がさらに酸化されるほどには高温で無く、しかし、酸化ソースガスを酸化物の中に拡散するには充分高温で、また、炭化珪素基板がさらに酸化されるほどには長時間で無く、しかし、酸化膜を高密度化して酸化膜と基板との界面特性を改善することができる程度の間、炭化珪素上の酸化物層を、酸化性の雰囲気さらす、という炭化珪素基板上的酸化物層で欠陥を減らすプロセスである。特に、炭化珪素基板の酸化方法について、ゲート酸化膜を形成した後に、600℃から1000℃でH<sub>2</sub>O(水)ガスを含む雰囲気処理する方法が記載されているが、この場合のH<sub>2</sub>Oガスは、H<sub>2</sub>ガスとO<sub>2</sub>ガスとの反応でなく、純水を熱することにより生成したH<sub>2</sub>Oの蒸気によるものである。また、(000-1)面のゲート酸化膜の形成方法及び酸化膜形成後の熱処理については、記載されていない。

#### 【0010】

また、文献1(S.Ogino, T.Oikawa, and K.Ueno, Mat. Sci. Forum, 338-342, 1101 (2000).)に、6H-SiCの(000-1)面について、ゲート酸化膜の下に不純物を注入するチャネルドーピングを用いてMOSFETを形成して動作させた旨、報告されているが、チャネルドーピングを用いない場合の結果は報告されていない。また、ゲート酸化膜の形成方法は、1100℃での乾燥酸素を用いたドライ酸化であり、それ以外の形成方法は記載されていない。

## 【0011】

また、文献2 (K.Fukuda, W.J.Cho, K.Arai, S.Suzuki, J.Senzaki, and T.Tanaka Appl. Phys. Lett.77, 866 (2000).) には、1200℃で熱酸化法により4H-SiCの(000-1)面にゲート酸化膜の形成方法と界面準位密度の関係についての報告があるが、1200℃よりも低い温度でのゲート絶縁膜の形成方法と酸化後の処理についての報告はない。

## 【0012】

## 【発明が解決しようとする課題】

上記のように、SiCには、代表的な面として(0001)面、(11-20)面、(000-1)面の3つの面がある。酸化速度は、(0001)面よりも(11-20)面が大きく、また、さらに(000-1)面の方が大きい。特に、(000-1)面は、(0001)面よりも約10倍大きい。したがって、酸化膜/炭化珪素界面における界面準位密度を下げる最適な酸化条件や酸化後のアニール条件は、面方位によって異なる。例えば、(0001)面では、界面準位密度は、H<sub>2</sub>Oを用いた場合よりも、乾燥酸素を用いた場合の方が低いが、(11-20)面では、H<sub>2</sub>Oを用いた酸化の方が低い。酸化後のアニール効果も面方位により異なる。このように、面毎に、界面準位密度が最小になる酸化条件や酸化後のアニール条件を最適化する必要がある。SiCのMOSFETは、研究当初においては、(0001)面に形成されていたが、そのチャネル移動度は、10 cm<sup>2</sup>/Vs程度にしかならなかった。最近、SiCの(11-20)面にH<sub>2</sub>O(水)でゲート絶縁膜を形成した後に、水素アニールをすることにより界面準位密度を下げて、チャネル移動度が110 cm<sup>2</sup>/Vsまで向上することが報告された。しかし、(11-20)面は、絶縁破壊電界が(0001)面や(000-1)面と比較して小さく、高耐圧パワーデバイスには不利である。また、(000-1)面に作製されたMOSFETがチャネルドーピング技術を用いることなく動作する報告はない。チャネルドーピング技術は、チャネル移動度を向上するが、リーク電流が流れやすくなり、耐圧が低下するので、やはり、高耐圧パワーデバイスには向いていない。

## 【0013】

この発明は上記に鑑み提案されたもので、(0001)面や(11-20)面よりも優れた(000-1)面の炭化珪素基板を用いた半導体装置において、ゲート酸化後の熱処理方法を最適化することにより、高耐圧で高チャネル移動度を有するSiC半導体装置を提供することを目的としている。

#### 【0014】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために本発明における第1の発明は、半導体装置の製造方法で、特にゲート絶縁膜の形成方法に関するものであり、半導体領域上にゲート絶縁膜を形成する工程と、そのゲート絶縁膜上にゲート電極を形成する工程と、上記の半導体領域に電極を形成する工程とを含む半導体装置の製造方法において、半導体領域は、(000-1)面の炭化珪素からなる領域が形成された半導体領域であり、さらに、該半導体領域の表面を清浄にする工程と、800℃から1150℃の温度範囲において、H<sub>2</sub>O(水)ガスを1%以上含んだ雰囲気でゲート絶縁膜を形成することにより、ゲート絶縁膜と上記の半導体領域の界面の界面準位密度を低減せしめる工程とを含むことを特徴とする。

#### 【0015】

また、第2の発明は、ゲート絶縁膜と上記の半導体領域の界面の界面準位密度をより低減せしめるために、第1の発明において、800℃から1050℃の温度範囲において、H<sub>2</sub>Oガスを含んだ雰囲気でのゲート絶縁膜の形成が行われることを特徴としている。

#### 【0016】

また、本発明における第3の発明は、ゲート絶縁膜と上記の半導体領域の界面の界面準位密度をより低減せしめるための半導体装置の製造方法で、半導体領域上にゲート絶縁膜を形成する工程と、そのゲート絶縁膜上にゲート電極を形成する工程と、上記の半導体領域に電極を形成する工程とを含む半導体装置の製造方法において、半導体領域は、(000-1)面の炭化珪素からなる領域が形成された半導体領域であり、さらに、該半導体領域の表面を清浄にする工程と、ゲート絶縁膜を形成する工程と、そのゲート絶縁膜を形成した後に、H<sub>2</sub>(水素)ガスあるいはH<sub>2</sub>O(水)ガスを含んだ雰囲気です熱処理することにより、上記のゲ

ート絶縁膜と上記の半導体領域の界面の界面準位密度を低減せしめる工程とを含むことを特徴としている。

#### 【0017】

また、本発明における第4の発明は、半導体装置の製造方法で、特にゲート絶縁膜を形成した後の熱処理に関するものであり、半導体領域上にゲート絶縁膜を形成する工程と、そのゲート絶縁膜上にゲート電極を形成する工程と、上記の半導体領域に電極を形成する工程とを含む半導体装置の製造方法において、半導体領域は、(000-1)面の炭化珪素からなる領域が形成された半導体領域であり、さらに、該半導体領域の表面を清浄にする工程と、ゲート絶縁膜を形成する工程と、そのゲート絶縁膜を形成した後に、 $\text{H}_2\text{O}$  (水) ガスを含んだ雰囲気中で熱処理した後に $\text{H}_2$  (水素) ガスを含んだ雰囲気中で熱処理することにより、上記のゲート絶縁膜と上記の半導体領域の界面の界面準位密度を低減せしめる工程とを含むことを特徴としている。

#### 【0018】

また、本発明における第5の発明は、半導体装置の製造方法で、特にゲート絶縁膜を形成した後の熱処理に関するものであり、本発明の第2あるいは第3の発明の特徴に加えて、ゲート絶縁膜を形成した後に行う熱処理は、 $\text{H}_2$  (水素) ガスと不活性ガスとの混合ガス中で行われ、その $\text{H}_2$  (水素) ガス濃度は、予め決められた1%ないし100%のいずれかの濃度をもつことを特徴としている。

#### 【0019】

また、第6の発明は、半導体装置の製造方法で、特にゲート絶縁膜を形成した後の熱処理に関するものであり、本発明の第2あるいは第3の発明の特徴に加えて、ゲート絶縁膜を形成した後に行う熱処理は $\text{H}_2\text{O}$  (水) ガスと不活性ガスとの混合ガス中で行われ、その $\text{H}_2\text{O}$  (水) ガス濃度は予め決められた1%ないし100%のいずれかの濃度をもつことを特徴としている。

#### 【0020】

また、第7の発明は、第3、第5、あるいは第6の発明の特徴に加えて、ゲート絶縁膜を形成する工程と、 $\text{H}_2$  (水素) ガスあるいは $\text{H}_2\text{O}$  (水) ガスを含んだ雰囲気中で熱処理する工程との間に、予め決められた温度の不活性雰囲気中に予め

決められた時間上記の半導体領域を保持する熱処理工程を含むことを特徴としている。

#### 【0021】

また、第8の発明は、第4、第5あるいは第6の発明の特徴に加えてゲート絶縁膜を形成する工程と、 $\text{H}_2\text{O}$ （水）ガスを含んだ雰囲気で熱処理する工程との間の第1の期間に、あるいは、 $\text{H}_2\text{O}$ （水）ガスを含んだ雰囲気で熱処理する工程と、 $\text{H}_2$ （水素）ガスを含んだ雰囲気で熱処理する工程との間の第2の期間に、予め決められた温度の不活性雰囲気中で予め決められた時間上記の半導体領域を保持する熱処理工程を含むことを特徴としている。

#### 【0022】

また、第9の発明は、第4、第5、第6あるいは第8の発明の特徴に加えて、 $\text{H}_2\text{O}$ ガスを含んだ雰囲気で熱処理する際の温度よりも、 $\text{H}_2$ ガスを含んだ雰囲気で熱処理する際の温度の方が高いことを特徴としている。

#### 【0023】

また、第10の発明は、第3ないし第9のいずれかの発明の特徴に加えて、ゲート絶縁膜を形成する工程の後に行う $\text{H}_2\text{O}$ （水）ガスを含んだ雰囲気で熱処理する工程は、 $650^\circ\text{C}$ から $950^\circ\text{C}$ の範囲の予め決められた温度で予め決められた時間保持する工程であることを特徴としている。

#### 【0024】

また、第11の発明は、第3ないし第10の発明のいずれかの特徴に加えて、ゲート絶縁膜を半導体領域の熱酸化法により形成することを特徴としている。

#### 【0025】

また、第12の発明は、第11の発明の特徴に加えて、半導体領域の熱酸化法は、 $\text{H}_2\text{O}$ （水）ガスを含んだ雰囲気で行われる熱酸化法であることを特徴としている。

#### 【0026】

また、第13の発明は、第12の発明の特徴に加えて、 $\text{H}_2\text{O}$ ガスを含んだ雰囲気が $\text{H}_2\text{O}$ ガスと酸素あるいは、 $\text{H}_2\text{O}$ ガスと酸素ガス及び不活性ガスからなり、 $\text{H}_2\text{O}$ ガスが1%から100%の範囲の予め決められた濃度であることを特徴

としている。

【0027】

また、第14の発明は、第13の発明に加えて、ゲート絶縁膜を形成した後に、 $H_2$ ガスを含んだ雰囲気中で熱処理をする場合に、 $H_2O$ ガスを含んだ雰囲気が $H_2O$ ガスと酸素ガスあるいは、 $H_2O$ ガスと酸素ガス及び不活性ガスからなり、 $H_2O$ ガスが10%から50%の予め決められた濃度であることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【0028】

また、第15の発明は、請求項1ないし請求項14のいずれかに記載の半導体装置の製造方法において、上記の $H_2O$ （水）ガスは、上記の半導体領域の置かれた雰囲気において $H_2$ （水素）ガスと $O_2$ （酸素）ガスの反応により生成されたものであることを特徴としている。

【0029】

また、第16の発明は、請求項15に記載の半導体装置の製造方法において、 $H_2$ （水素）ガスの流量、 $[H_2]$ 、と $O_2$ （酸素）ガスの流量、 $[O_2]$ 、の比が $[O_2] / [H_2] = 0.1$ から100の範囲の予め決められた範囲にあることを特徴としている。

【0030】

また、第17の発明は、第3ないし第16の発明のいずれかの特徴に加えて、半導体領域の酸化温度が800℃から1150℃の範囲の予め決められた温度範囲にあることを特徴としている。

【0031】

また、第18の発明は、第11ないし第17の発明のいずれかの特徴に加えて、半導体領域を熱酸化してゲート酸化膜を形成した後に、 $H_2O$ ガスを含んだ雰囲気で熱処理をする場合に、熱処理温度が、ゲート酸化膜を形成した温度よりも低い温度で行い、ゲート酸化膜厚を増加することを特徴としている。

【0032】

また、第19の発明は、第3ないし第18の発明のいずれかの特徴に加えて、 $H_2$ （水素）ガスを含んだ雰囲気での熱処理温度が600℃から900℃の範囲



の予め決められた温度範囲にあることを特徴としている。

【0033】

また、第20の発明は、第3ないし第19の発明のいずれかの特徴に加えて、ゲート絶縁膜の形成及びその後の $H_2$ （水素）ガスあるいは $H_2O$ （水）ガスあるいは不活性ガス雰囲気での熱処理は、外気と遮断された装置内で連続して行われることを特徴としている。

【0034】

また、第21の発明は、第1ないし第20の発明のいずれかの特徴に加えて、半導体領域の表面を清浄にする工程は、オゾン雰囲気中に置かれた半導体領域に紫外光を照射することにより清浄にする工程を含むことを特徴としている。

【0035】

また、第22の発明は、第1ないし第21の発明のいずれかの特徴に加えて、半導体領域の表面を清浄にする工程は、 $H_2$ （水素）雰囲気中で熱処理することにより清浄にする工程を含むことを特徴としている。

【0036】

また、第23の発明は、第22の発明の特徴に加えて、半導体領域の表面を清浄にする工程は、オゾン雰囲気に置かれた半導体領域に紫外光を照射して清浄にする工程と、その後に行われる、半導体領域を $H_2$ （水素）ガス雰囲気中で熱処理することにより清浄にする工程とを含むことを特徴としている。

【0037】

また、第24の発明は、第1ないし第23の発明のいずれかに含まれる工程に加えて、さらに、層間絶縁膜を形成する工程と、配線層を形成する工程と、配線層を保護する絶縁膜を形成する工程とをさらに含む事を特徴としている。

【0038】

また、第25の発明は、第3ないし第24の発明のいずれかの特徴に加えて、さらに、 $H_2$ （水素）ガスを含んだ雰囲気での熱処理を、ゲート絶縁膜より上の層にゲート電極層を形成した後に行うことを特徴としている。

【0039】

また、第26の発明は、第3ないし第25の発明のいずれかの特徴において、

あるいはそれに加えて、 $H_2$ （水素）ガスを含んだ雰囲気での熱処理を行う工程を含み、さらに、この工程の後に、 $600^\circ\text{C}$ 以下での不活性ガス雰囲気中で熱処理を行う工程を含むことを特徴としている。

#### 【0040】

##### 【発明の実施の形態】

本発明では、絶縁破壊電圧が、 $(11-20)$ 面よりも大きい、 $(000-1)$ 面において、 $(0001)$ 面よりもチャネル移動度が高い酸化膜／炭化珪素界面形成技術に注目した半導体装置の製造方法を提供する。以下にこの発明の実施の形態を、図を用いて詳細に説明する。まず、具体的な半導体装置の製造方法を、図1を用いて説明する。

#### 【0041】

##### 【実施例】

図1は、炭化珪素基板を用いたMOSトランジスタの製造プロセス途中の断面図である。図1(a)の $(000-1)$ 面のP型炭化珪素基板1（ $4H-SiC$ 、不純物濃度： $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ）を通常のRCA洗浄をした後に、P型炭化珪素基板1にフォトリソグラフィー用のアライメントマークをRIE（Reactive ion etching）で形成した。ここで、炭化珪素基板としては、シリコン基板上に成長した炭化珪素膜を用いることも可能である。

#### 【0042】

次いで、図1(b)に示すようにソース領域あるいはドレイン領域のイオン注入用マスク4を熱酸化膜やCVD（Chemical Vapor Deposition）による $SiO_2$ 膜で形成する。本実施例では、図1(b)に示すようにイオン注入マスクとして、LTO（Low Temperature Oxide）膜を用いた。LTO膜は、シランと酸素を $400^\circ\text{C}$ から $800^\circ\text{C}$ で反応させて二酸化珪素をP型炭化珪素基板1に堆積することにより形成した。次いで、フォトリソグラフィーでソース・ドレイン領域を形成した後に、HF（フッ酸）でLTOをエッチングしてイオン注入されるソース領域あるいはドレイン領域を開口した。次いで、図1(b)に示したソース4あるいはドレイン5を形成するために $500^\circ\text{C}$ で、窒素、燐あるいは砒素をイオン注入した。その後、アルゴン雰囲気中において $1200^\circ\text{C}$ から $1700^\circ\text{C}$ の範囲

において活性化熱処理を行う。本実施例では、1500℃で5分の熱処理を行った。次いで、基板の清浄化のために、1) 犠牲酸化膜形成後HFでエッチング、2) オゾンに紫外光を照射しながらSiC基板表面処理、3) 1000℃で30分のH<sub>2</sub>処理、4) 2) の後に3) を連続して行う。次いで、800℃から1200℃でO<sub>2</sub>あるいは、H<sub>2</sub>O (水) を含むガスで酸化して、約50nmのゲート絶縁膜5を形成した。

#### 【0043】

一般に、H<sub>2</sub>Oを含むガスを用いた酸化には、1) H<sub>2</sub>Oを加熱した蒸気を酸素あるいは、不活性ガス(アルゴン、窒素、あるいはヘリウム)で炭化珪素基板まで流す方法、あるいは、2) H<sub>2</sub>(水素)とO<sub>2</sub>(酸素)を反応させることによりH<sub>2</sub>Oを発生させて行う方法とがある。本実施例では、1) あるいは2) で熱酸化膜を形成した。2) の場合には、800℃から1200℃で行った。この場合にも、H<sub>2</sub>Oを不活性ガスと一緒に流してもよい。さらに、熱酸化膜との比較のために50nmのLTO膜でゲート絶縁膜を形成した。次いで、不活性ガス中で熱処理して室温まで冷却した。この不活性ガス中で熱処理する工程は、省略することも可能であるが、信頼性の高いものを製造するためには省略しない方が望ましい。次いで、H<sub>2</sub>あるいはH<sub>2</sub>Oを含んだ雰囲気中で熱処理をした。H<sub>2</sub>を含んだ雰囲気の場合には、400℃から900℃で行った。H<sub>2</sub>Oを含んだ雰囲気の場合には、650℃から950℃で行うことが望ましい。本実施例では、650℃、750℃、850℃、950℃のそれぞれで行った。本実施例で使用したH<sub>2</sub>Oガスは、全てH<sub>2</sub>ガスとO<sub>2</sub>ガスを800℃の温度で反応させて発生させたH<sub>2</sub>Oガスで、H<sub>2</sub>(水素)ガスの流量、[H<sub>2</sub>]、とO<sub>2</sub>(酸素)ガスの流量、[O<sub>2</sub>]、の比 [O<sub>2</sub>] / [H<sub>2</sub>] は0.1から10の範囲で調整して行ったが、図1の場合は3であった。この時に、H<sub>2</sub>Oガスは、不活性ガス(アルゴン、窒素、あるいはヘリウム)と一緒に流してもよい。この後に、アルゴンや窒素などの不活性ガス中で熱処理する。この工程は、上記と同様に、省略することも可能であるが、信頼性の高いものを製造するためには省略しない方が望ましい。次いで、さらに、低温でH<sub>2</sub>O熱処理をしてからH<sub>2</sub>熱処理を行った。2回目のH<sub>2</sub>あるいはH<sub>2</sub>O熱処理は省略することも可能であるが、省略しない方が望ましい。本実施

例では、 $H_2O$ 処理を $650^{\circ}C$ と $850^{\circ}C$ で行った後に、 $800^{\circ}C$ で水素処理を行った。

#### 【0044】

その後にゲート電極6を形成するが、ゲート電極は、アルミニウム、あるいは、N型ポリシリコン、あるいはP型ポリシリコンのいずれでもよい。さらに、この上に $WSi_2$ 膜、 $MoSi_2$ 膜、あるいは $TiSi_2$ 膜などのシリサイド膜を形成しても良い。この後に、アルミニウム膜、あるいはN型ポリシリコン、あるいはP型ポリシリコンをエッチングすることによりゲート電極を形成した。引き続いて、その上に酸化膜を堆積して、その酸化膜を局部的にエッチングしてコンタクト孔を開口した。次いで、アルミニウムを蒸着した後にウエットエッチングした。ニッケル、チタン、アルミニウムを含有した金属あるいはこれらの積層膜を蒸着あるいは、スパッタ法で形成した後に、RIEあるいは、ウエットエッチングにより金属配線10を形成してもよい。次いで、窒素中で熱処理を行い、MOS電界効果型トランジスタを完成させた。

#### 【0045】

また、MOSキャパシタは、次の様に作製した。まず、(000-1)面のN型炭化珪素基板( $4H-SiC$ 、不純物濃度： $5 \times 10^{15} cm^{-3}$ )を通常のRCA洗浄をした後に、10nmの犠牲酸化膜を形成して、この犠牲酸化膜を5%フッ酸で除去した。この後に、ゲート絶縁膜を形成して、その後、熱処理を行った。ゲート絶縁膜形成方法と、その後の熱処理方法は、MOSFET作製方法と同様である。次いで、アルミニウム膜を蒸着法によりゲート絶縁膜の上とSiC基板の裏面につけ、さらに、裏面に金属基板をつけて図2に示す断面構造をもったMOSキャパシタを完成させた。

#### 【0046】

乾燥酸素でゲート酸化膜を形成した場合と $H_2O$ 雰囲気でゲート酸化膜を形成した場合とでは、それぞれ酸化後に不活性ガス(アルゴン)でアニールしたが、乾燥酸素でゲート酸化膜を形成したの場合は、MOSFETは動作しなかったが、 $H_2O$ 雰囲気の場合には、動作し、そのチャネル移動度は $50 cm^2/Vs$ であった。このように、 $1150^{\circ}C$ 以下で $H_2O$ 雰囲気でゲート酸化膜を形成する

と、(000-1)面でも、MOSFETを動作させることができる。

#### 【0047】

図3に、H<sub>2</sub>Oを含んだ雰囲気で950℃から1200℃においてゲート絶縁膜を形成した後に、Ar（アルゴン）雰囲気中で30分の熱処理をした試料のMOSキャパシタの同時容量-電圧測定法で測定された高周波CV特性（測定周波数  $f = 100 \text{ kHz}$ ）と準静的CV特性（ステップ電圧  $V_s = 50 \text{ mV}$ ，遅延時間  $t_d = 10 \text{ 秒}$ ）を示す。実線が、高周波CV特性で、破線が準静的CV特性である。この2つCV特性の容量差が大きいほど、界面準位密度 ( $D_{it}$ ) が大きいことを示している。図4に図3のデータから、数1を用いて算出された界面準位密度 ( $D_{it}$ ) のSiCのエネルギーバンド内の分布を示す。ここで、 $C_h$ ：高周波容量、 $C_q$ ：準静的容量、 $C_{ox}$ ：酸化膜容量、 $q$ ：電子の電荷である。

#### 【0048】

##### 【数1】

$$D_{it} = \frac{1}{q} \left[ \left( \frac{1}{C_q} - \frac{1}{C_{ox}} \right)^{-1} - \left( \frac{1}{C_h} - \frac{1}{C_{ox}} \right)^{-1} \right]$$

#### 【0049】

図4に示したデータの試料では、H<sub>2</sub>Oガスを含んだ雰囲気中で950℃から1200℃においてゲート絶縁膜を形成した後に、Ar（アルゴン）雰囲気中で30分の熱処理をしている。酸化温度が1100℃以上までは、 $D_{it}$ は高く、ほぼ一定であるが、1100℃以下になると減少し、1000℃以下になると一定になる。したがって、酸化温度は、1100℃より低い温度が望ましい。

#### 【0050】

図5では、乾燥酸素 (Dry)、H<sub>2</sub>O雰囲気 (Wet) でSiC基板を熱酸化して、アルゴン熱処理のみをしたものと、さらに800℃で水素熱処理をした試料を比較している。酸化方法にかかわらず、水素熱処理が、 $D_{it}$ を減少させているのがわかる。したがって、水素熱処理は、 $D_{it}$ の減少に効果がある。

#### 【0051】

図6に $H_2O$ 雰囲気中で酸化して、アルゴン熱処理をした後に、水素熱処理の400℃から900℃で温度を変えた場合の界面準位密度を示す。400℃までは、変化がないが、400℃以上で急激に減少して800℃以上で飽和する。1000℃より高温だと、水素がゲート絶縁膜を還元してゲート絶縁膜の信頼性を損ねるので、水素熱処理の温度は、400℃から1000℃が望ましい。

#### 【0052】

図7にゲート酸化膜を $H_2O$ 雰囲気において、950℃から1200℃で形成したのちに、アルゴン雰囲気中で熱処理し、さらに、800℃で水素ガスを含む雰囲気中で熱処理をした場合の界面準位密度に対する、酸化温度の効果を示す。酸化温度が1100℃以上までは、 $D_{it}$ は高く、ほぼ一定であるが、1100℃より低くなると減少し、1000℃以下になると一定になる。したがって、ゲート絶縁膜を形成した後に水素熱処理をした場合でも、酸化温度は、1100℃より低い温度が望ましい。

#### 【0053】

図8にゲート絶縁膜を $H_2O$ 雰囲気において形成したのちに、アルゴン雰囲気中で熱処理し、さらに、800℃で水素中で熱処理をする場合において、ゲート絶縁膜形成時の $H_2O$ 雰囲気の $H_2O$ ガス濃度が、界面準位密度に対する効果を示す。 $H_2O$ ガス濃度が25%までは、界面準位密度は一定であるが、50%以上では、増加する。したがって、 $H_2O$ ガス濃度は、50%より低い範囲が望ましい。

#### 【0054】

この様にして得られた結果について、表1にゲート絶縁膜の形成条件と酸化後の熱処理条件とMOSFETのチャネル移動度の関係をまとめる。

#### 【0055】

【表 1】

ゲート酸化膜形成法	ゲート酸化膜形成/ 熱処理方法		
	Ar(1100°C)	Ar+H <sub>2</sub> (1100°C)	Ar(950°C)
H <sub>2</sub> O(水)雰囲気	50 cm <sup>2</sup> /Vs	72 cm <sup>2</sup> /Vs	65 cm <sup>2</sup> /Vs

## 【0056】

ゲート絶縁膜をH<sub>2</sub>O雰囲気で形成した場合は、チャネル移動度50 cm<sup>2</sup>/Vsだが、形成後に、H<sub>2</sub>で熱処理した場合にチャネル移動度は、72 cm<sup>2</sup>/Vsになった。また、酸化温度を950°Cにした場合には、65 cm<sup>2</sup>/Vsで温度を下げることににより、チャネル移動度が向上する。

## 【0057】

次に、ゲート絶縁膜としてLTO膜と熱酸化膜の比較結果を表2に示す。この表では、共に酸化後のアニール(POA)は、Ar(アルゴン)ガス中でのアニールのみである。この結果から、熱酸化膜がチャネル移動度の向上に効果があることがわかる。

## 【0058】

【表 2】

ゲート酸化膜	チャネル移動度
LTO 膜	<10cm <sup>2</sup> /Vs
熱酸化膜	50cm <sup>2</sup> /Vs

## 【0059】

次に、純水を暖めてH<sub>2</sub>Oの蒸気にし、これをアルゴンガスで流して炭化珪素基板を酸化した場合と、H<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>の反応によりH<sub>2</sub>Oを生成して、アルゴンガスで流して炭化珪素基板を酸化した場合のチャネル移動度の結果を表3に示す。ゲート絶縁膜形成条件は、1150°C、14分である。この結果から、H<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>を反応して、H<sub>2</sub>Oを生成した方が、チャネル移動度が高く、チャネル移動度の向上に効果があることがわかる。

## 【0060】

【表3】

H <sub>2</sub> O の生成法	チャネル移動度
純水の沸騰	<10cm <sup>2</sup> /Vs
H <sub>2</sub> と O <sub>2</sub> の燃焼	50cm <sup>2</sup> /Vs

## 【0061】

次に、チャネル移動度に対する清浄効果を表4に示す。ゲート絶縁膜形成条件は、1150℃、14分である。

## 【0062】

【表4】

SiC 基板の清浄方法	チャネル移動度
無し	50cm <sup>2</sup> /Vs
オゾンに紫外光照射	55cm <sup>2</sup> /Vs
水素アニール	57cm <sup>2</sup> /Vs
オゾンに紫外光照射+水素アニール	60cm <sup>2</sup> /Vs

## 【0063】

この結果から、清浄処理をしない場合よりも、清浄処理をした方が、チャネル移動度が向上することがわかる。オゾン雰囲気中で紫外光照射する清浄処理工程の後のその値は、55cm<sup>2</sup>/Vsであるが、水素アニールによる清浄処理後で57cm<sup>2</sup>/Vsになり、オゾン雰囲気中で紫外光照射する清浄処理と水素アニールによる清浄処理を行うと60cm<sup>2</sup>/Vsになった。したがって、清浄処理として、オゾン雰囲気中で紫外光照射する清浄処理、水素アニールによる清浄処理、あるいは、オゾン雰囲気中で紫外光照射する清浄処理と水素アニールによる清浄処理を行う処理、等は、チャネル移動度の改善に効果があることがわかる。

## 【0064】

## 【発明の効果】

この発明は上記した構成からなるので、以下に説明するような効果を奏するこ



とができる。

【0065】

第1の発明では、(000-1)面の炭化珪素からなる領域が形成された半導体基板上に $H_2O$ を1%以上含んだ雰囲気で酸化することにより、チャネル移動度を向上することができる。

【0066】

また、第2の発明では、(000-1)面の炭化珪素からなる領域が形成された半導体基板上にゲート絶縁膜の酸化温度を800℃から1050℃に制限することにより、界面準位密度を下げ、チャネル移動度を向上することができる。

【0067】

また、第3、第4、第5あるいは第6の発明では、(000-1)面の炭化珪素からなる領域が形成された半導体基板上にゲート絶縁膜を形成した後に、1%ないし100%のいずれかの濃度をもった $H_2$ あるいは $H_2O$ を含んだ雰囲気で熱処理することにより、チャネル移動度を向上することができる。

【0068】

また、第7の発明では、第3、5あるいは第6の発明の特徴に加えて、ゲート絶縁膜を形成した後で、 $H_2$ あるいは $H_2O$ を含んだ雰囲気で熱処理する前に不活性雰囲気中で熱処理することにより、チャネル移動度を向上することができる。

【0069】

また、第8の発明では、第4、5あるいは6の発明の特徴に加えて、ゲート絶縁膜を形成した後、あるいは、 $H_2O$ を含んだ雰囲気で熱処理した後で、 $H_2$ を含んだ雰囲気中での熱処理する前のどちらか一方あるいは両方の工程において不活性雰囲気中で熱処理することにより、チャネル移動度を向上することができる。

【0070】

また、第9の発明では、第4、5、6あるいは8の発明の特徴に加えて、 $H_2$ ガスを含んだ雰囲気中での熱処理する温度を、 $H_2O$ ガスを1%以上含んだ雰囲気中での熱処理する温度のより高くすることを特徴とする雰囲気中での熱処理することにより、チャネル移動度を向上することができる。

【0071】

また、第10の発明では、第3あるいは第9の発明の特徴に加えて、ゲート絶縁膜を形成する工程の後に行う $\text{H}_2\text{O}$ （水）ガスを含んだ雰囲気中で熱処理する工程は、 $650^\circ\text{C}$ から $950^\circ\text{C}$ の範囲であるため、ゲート絶縁膜の膜厚増加は、無視できる程度にすることができる。

#### 【0072】

また、第11の発明では、第3から第10の発明のいずれかの特徴に加えて、ゲート絶縁膜を熱酸化法により形成することにより、チャネル移動度を向上することができる。

#### 【0073】

また、第12の発明では、第11の発明の特徴に加えて、熱酸化法が $\text{H}_2\text{O}$ を含んだ雰囲気を用いることにより、チャネル移動度を向上することができる。

#### 【0074】

また、第13の発明では、第12の発明の特徴に加えて、 $\text{H}_2\text{O}$ を含んだ雰囲気が $\text{H}_2\text{O}$ ガスと酸素ガスと不活性ガスからなり、 $\text{H}_2\text{O}$ ガスが1%から100%の予め決められた濃度である雰囲気を用いることにより、チャネル移動度を向上することができる。

#### 【0075】

また、第14の発明では、第13の発明のいずれかの特徴に加えて、使用する $\text{H}_2\text{O}$ が $\text{H}_2$ と $\text{O}_2$ からなり、10%から50%の予め決められた濃度にするにより、界面準位密度を下げるることができる。

#### 【0076】

また、第15の発明では、第1ないし第14の発明のいずれかの特徴に加えて、使用する $\text{H}_2\text{O}$ が $\text{H}_2$ と $\text{O}_2$ （酸素）の反応により生成することにより、不純物の導入を抑えて、チャネル移動度を向上することができる。

#### 【0077】

また、第16の発明では、第15の発明の特徴に加えて、 $\text{H}_2\text{O}$ の生成に当たっては、 $\text{H}_2$ （水素）ガスの流量、 $[\text{H}_2]$ 、と $\text{O}_2$ （酸素）ガスの流量、 $[\text{O}_2]$ 、の比が $[\text{O}_2] / [\text{H}_2] = 0.1$ から100にすることにより、チャネル移動度を向上することができる。

## 【0078】

また、第17の発明では、第3ないし第16の発明のいずれかの特徴に加えて、半導体基板の酸化温度が800℃から1150℃の範囲の予め決められた温度範囲にあるようにすることにより、チャネル移動度を向上することができる。

## 【0079】

また、第18の発明では、第11ないし第17の発明のいずれかの特徴に加えて、ゲート酸化膜を形成した温度よりも低い温度でH<sub>2</sub>Oを含んだ雰囲気中で熱処理をするようにしたので、ゲート酸化膜の膜圧を増加させることなくチャネル移動度を向上することができる。

## 【0080】

また、第19の発明では、第3ないし第18の発明のいずれかの特徴に加えて、H<sub>2</sub>（水素）を含んだ雰囲気での熱処理温度が600℃から900℃の範囲の予め決められた温度範囲にある様にするにより、水素によるエッチングなどを避けて、チャネル移動度を向上することができる。

## 【0081】

また、第20の発明では、第3ないし第19の発明のいずれかの特徴に加えて、H<sub>2</sub>Oを含んだ雰囲気が、ゲート絶縁膜の形成及びその後のH<sub>2</sub>（水素）ガスあるいはH<sub>2</sub>O（水）ガスあるいは不活性ガス雰囲気での熱処理は、外気と遮断された装置内で連続して行われる様にするにより、チャネル移動度を向上することができる。

## 【0082】

また、第21の発明では、第1ないし第20の発明のいずれかの特徴に加えて、半導体領域の表面を清浄にする工程は、オゾン雰囲気中に置かれた半導体領域に紫外光を照射することにより清浄にする工程を含む様にするにより、チャネル移動度を向上することができる。

## 【0083】

また、第22の発明では、第1ないし第21の発明のいずれかの特徴に加えて、半導体領域の表面を清浄にする工程は、H<sub>2</sub>（水素）雰囲気中で熱処理することにより清浄にする工程を含む様にするにより、チャネル移動度を向上する

ことができる。

#### 【0084】

また、第23の発明では、第22の発明の特徴に加えて、半導体領域の表面を清浄にする工程は、オゾン雰囲気中に置かれた半導体領域に紫外光を照射して清浄にする工程と、その後に行われる、半導体領域を $H_2$ （水素）ガス雰囲気中で熱処理することにより清浄にする工程とを含む様にするることにより、チャネル移動度を向上することができる。

#### 【0085】

また、第24の発明では、第1ないし第23の発明のいずれかに含まれる工程に加えて、さらに、層間絶縁膜を形成する工程と、配線層を形成する工程と、配線層を保護する絶縁膜を形成する工程とを含む様にするることにより、十分にオン抵抗の低い炭化珪素電子デバイス、電子回路、電力素子を実現できる。

#### 【0086】

また、第25の発明では、第3ないし第24のいずれかの発明の特徴に加えて、さらに、 $H_2$ （水素）を含んだ雰囲気での熱処理を、ゲート絶縁膜より上の層にゲート電極層を形成することにより、ゲート絶縁膜が汚染されることなく、チャネル移動度を向上することができる。

#### 【0087】

また、第26の発明では、第3ないし第25のいずれかの発明の特徴において、あるいはそれに加えて、 $H_2$ （水素）を含んだ雰囲気での熱処理を行う工程を含み、さらに、この工程の後に、 $600^{\circ}C$ 以下での不活性ガス雰囲気中で熱処理を行う工程を含むことにより、チャネル移動度を向上することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

MOS電界効果型トランジスタの製造方法を示す模式図である。

##### 【図2】

MOSキャパシタの断面を示す模式図である。

##### 【図3】

乾燥酸素とAr（アルゴン）、 $H_2$ （水素）、 $H_2O$ （水）雰囲気での熱処理を用

いて形成したゲート絶縁膜を有するMOSキャパシタのCV曲線を示す図で、実線は高周波CV曲線、破線は準静的CV曲線を示す。

【図4】

図3のCV曲線から算出した界面準位密度のエネルギーギャップ内の分布を示す図である。

【図5】

H<sub>2</sub>O雰囲気での酸化とAr、H<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O雰囲気での熱処理を用いて形成したゲート絶縁膜を有するMOSキャパシタのCV曲線から算出した界面準位密度のエネルギーギャップ内の分布を示す図である。

【図6】

H<sub>2</sub>O雰囲気で酸化して、アルゴン熱処理をした後に、水素熱処理の400℃から900℃で温度を変えた場合の界面準位密度を示す図である。

【図7】

H<sub>2</sub>O雰囲気でゲート酸化膜を形成して、アルゴン熱処理をした後に、H<sub>2</sub>O熱処理を650℃、750℃、850℃、950℃で温度を変えた場合の界面準位密度を示す図である。

【図8】

H<sub>2</sub>O雰囲気でゲート酸化膜を形成したのちに、アルゴン雰囲気で熱処理し、さらに、800℃で水素ガス中で熱処理をした場合の界面準位密度に対する、酸化温度の効果を示す図である。

【符号の説明】

- 1 P型炭化珪素基板
- 2 イオン注入用マスク
- 3 ソース
- 4 ドレイン
- 5 ゲート絶縁膜
- 6 ゲート電極
- 7 金属配線

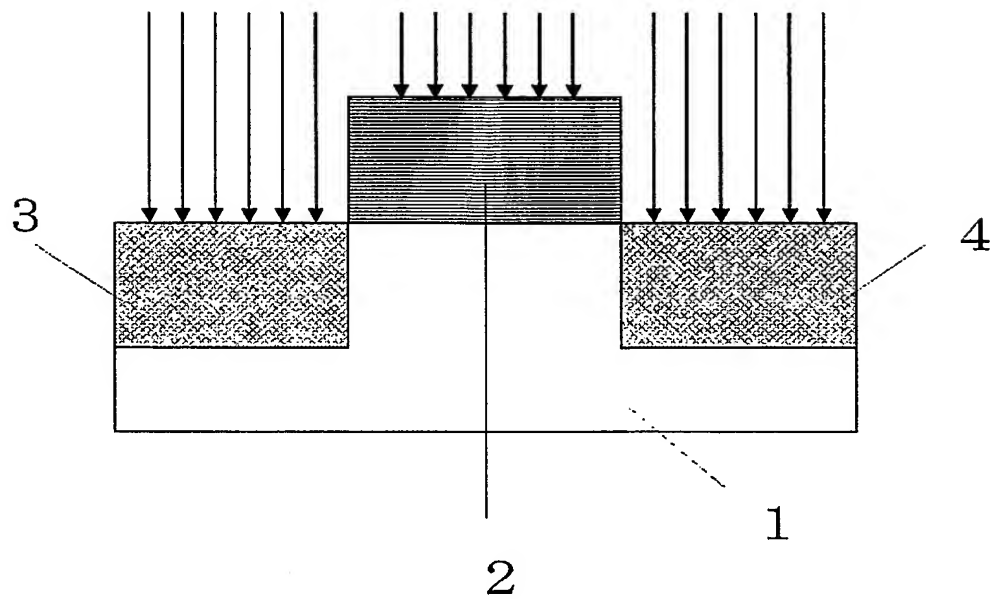
【書類名】

図面

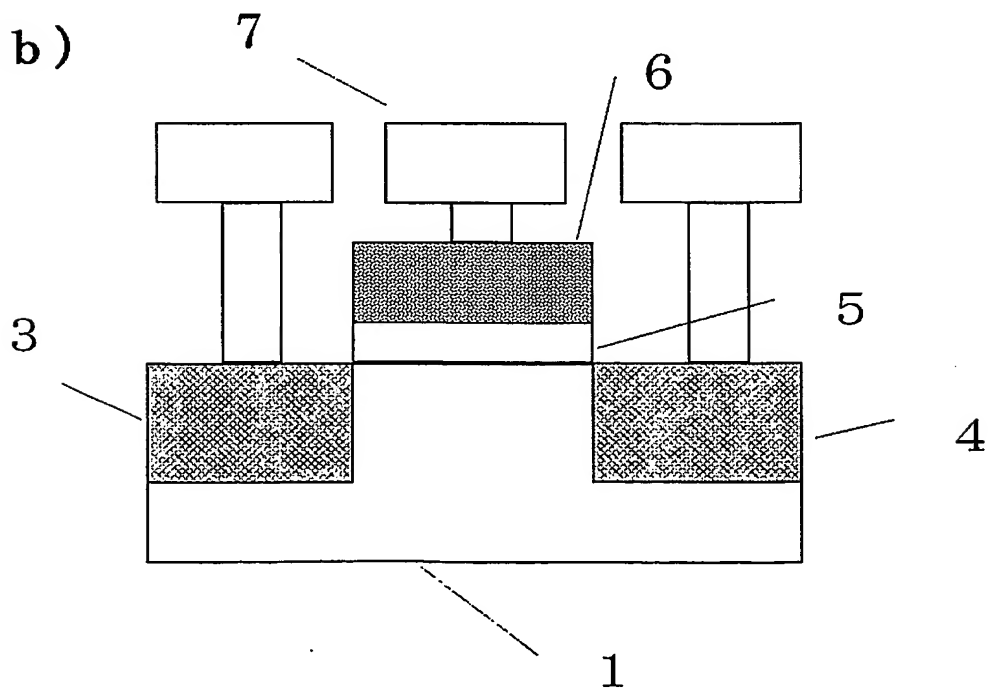
【図 1】

(a)

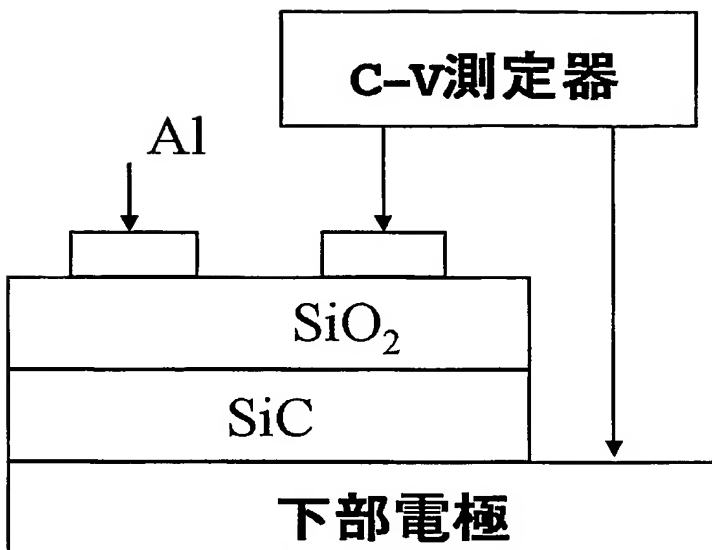
ソース／ドレイン形成用  
イオン注入



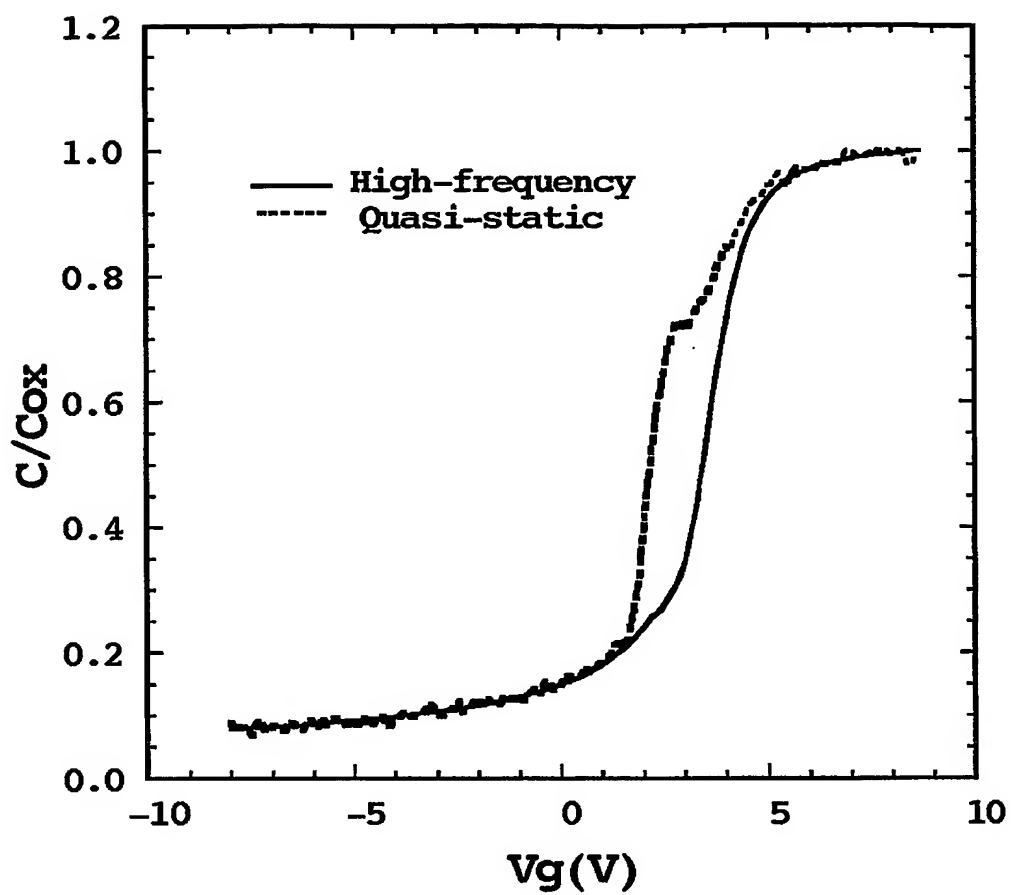
(b)



【図 2】

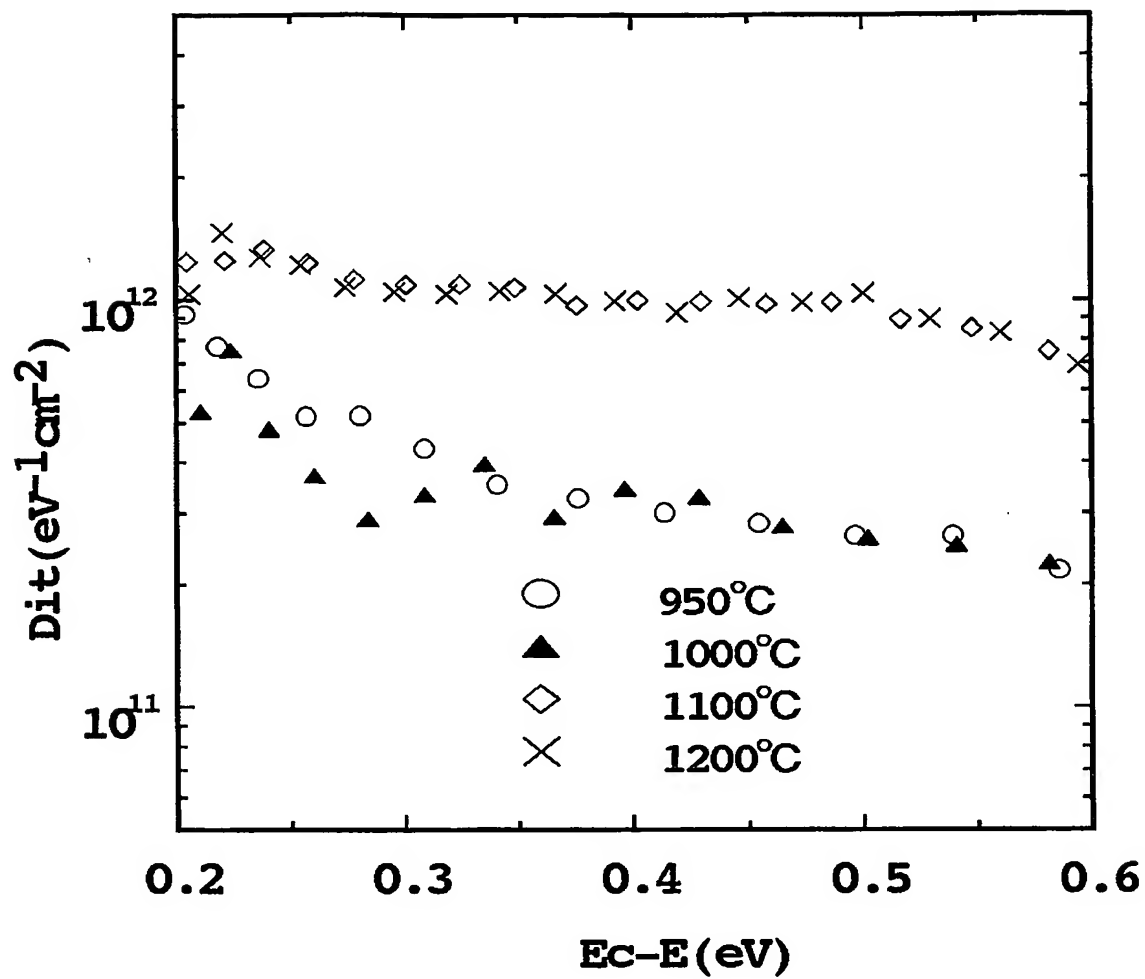


【図 3】

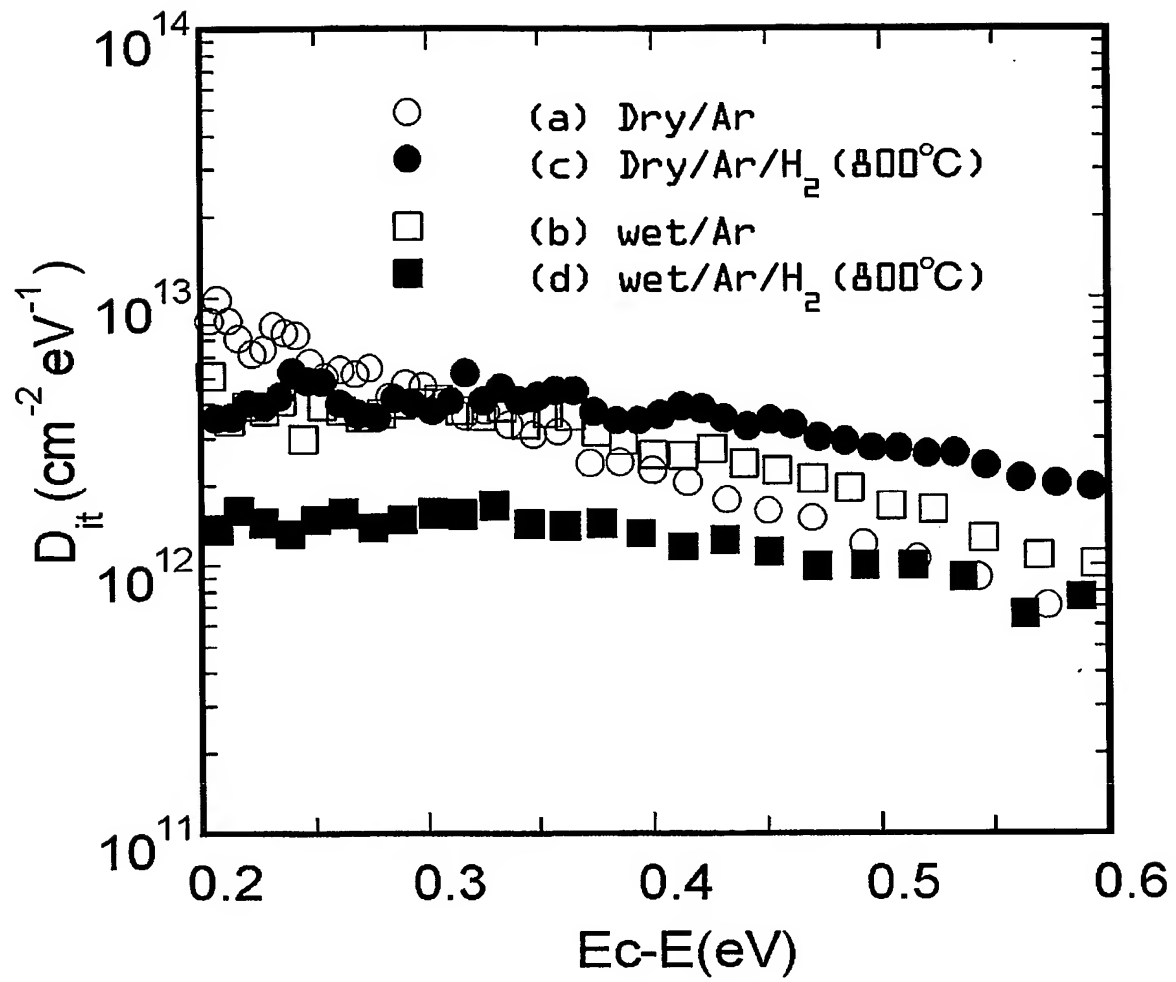




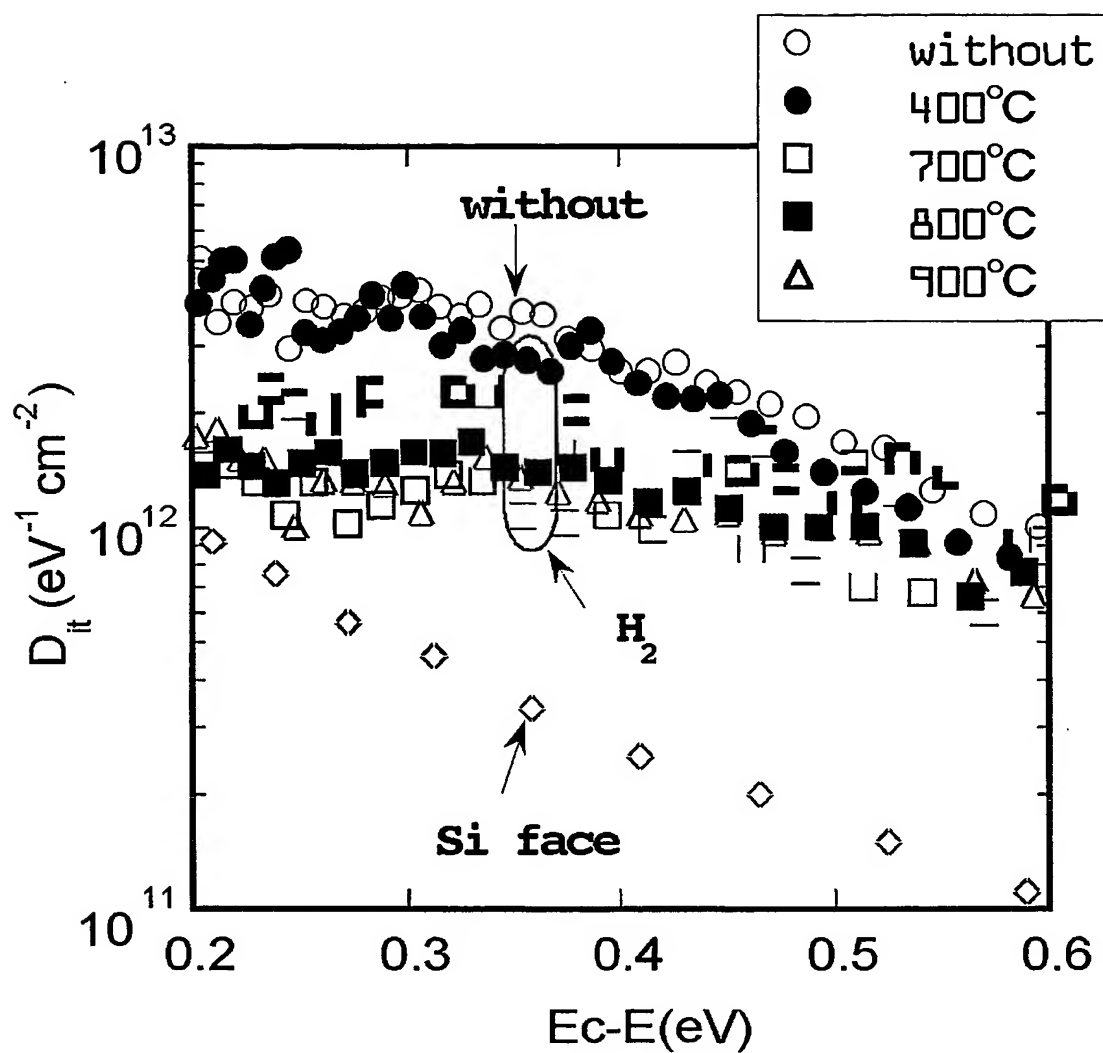
【図 4】



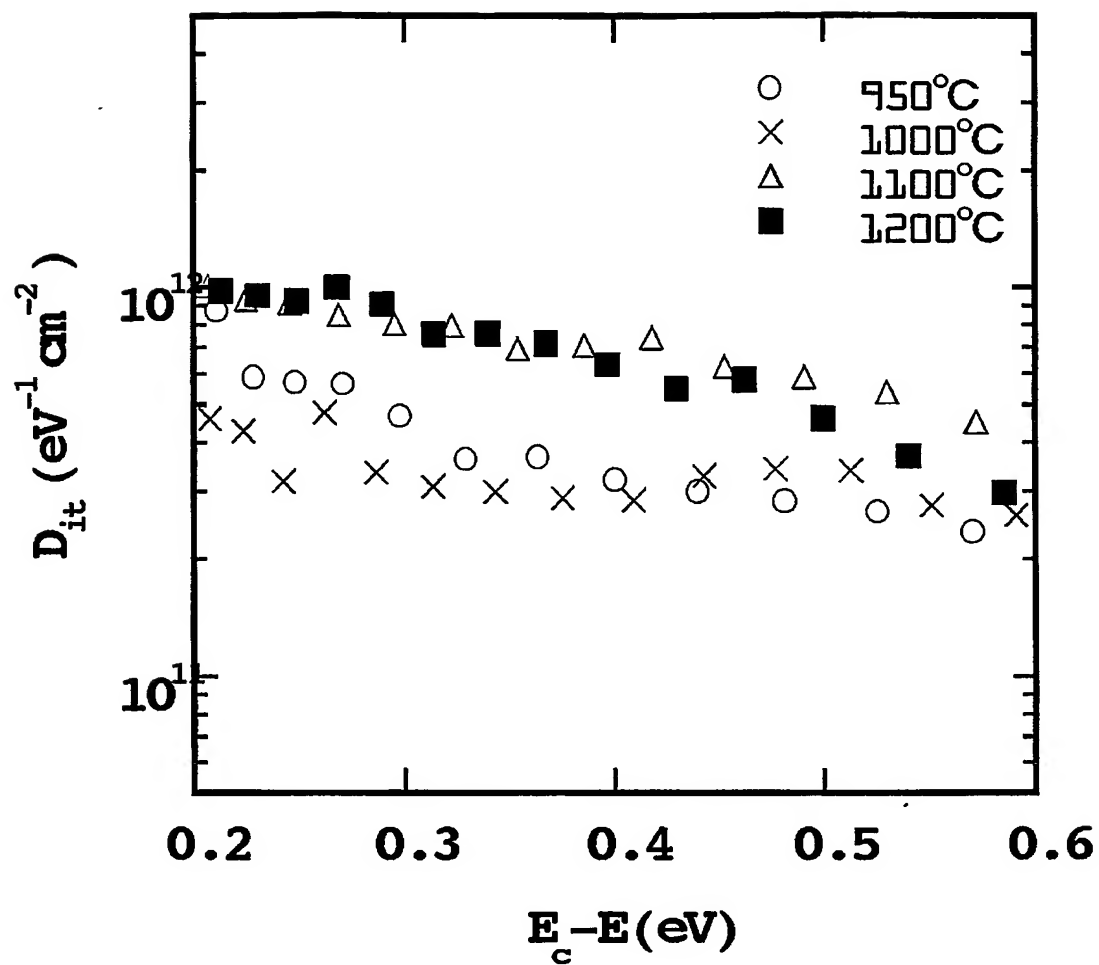
【図5】



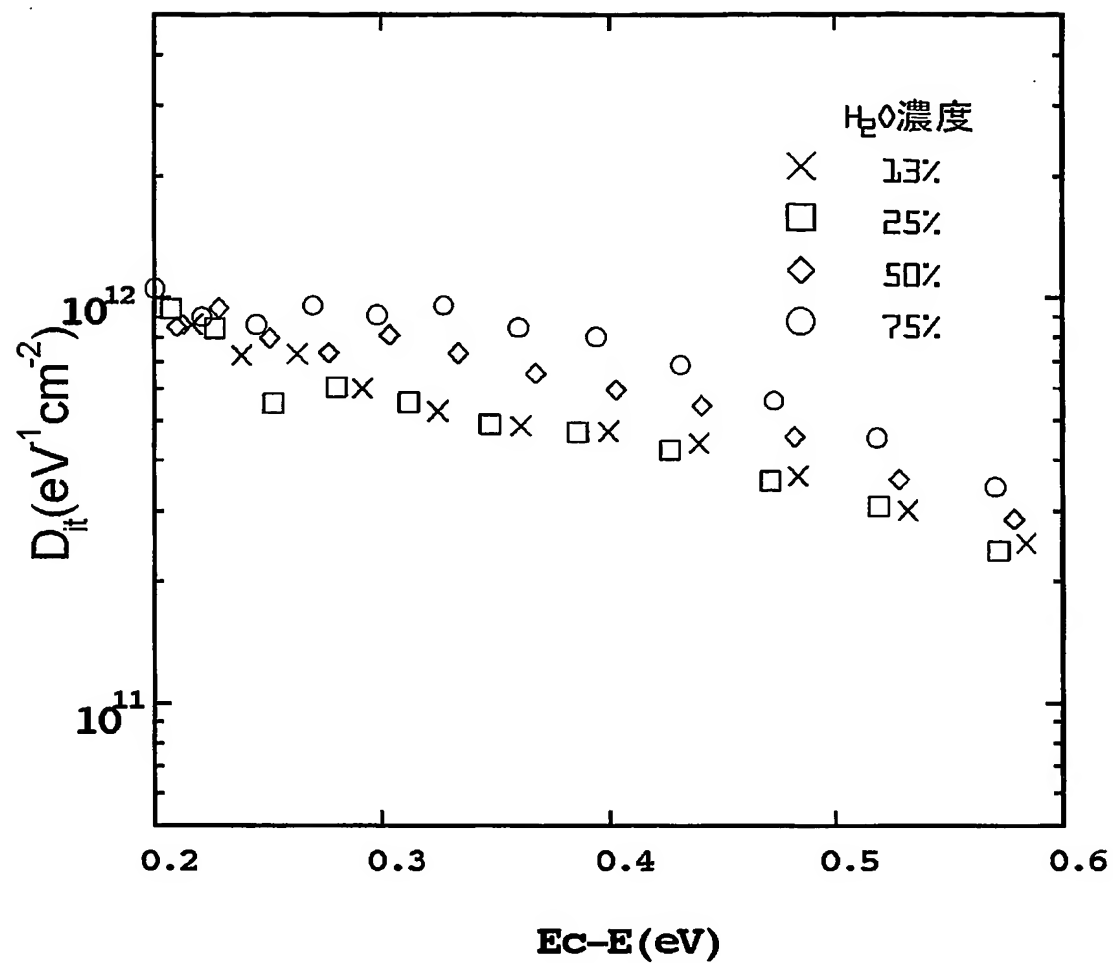
【図6】



【図 7】



【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 (000-1)面の炭化珪素基板を用いた半導体装置において、ゲート酸化後の熱処理方法を最適化することにより、高耐圧で高チャネル移動度を有するSiC半導体装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 ゲート絶縁膜の形成方法に関して、半導体領域上にゲート絶縁膜を形成する工程と、そのゲート絶縁膜上にゲート電極を形成する工程と、上記の半導体領域に電極を形成する工程とを含む半導体装置の製造方法において、半導体領域は、(000-1)面の炭化珪素からなる領域が形成された半導体領域であり、さらに、該半導体領域の表面を清浄にする工程と、800℃から1150℃の温度範囲において、H<sub>2</sub>O(水)ガスを1%以上含んだ雰囲気中でゲート絶縁膜を形成することにより、ゲート絶縁膜と上記の半導体領域の界面の界面準位密度を低減せしめる工程とを含むような工程とする。

【選択図】 図4

特願 2002-189161

出願人履歴情報

識別番号

[301021533]

1. 変更年月日

2001年 4月 2日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区霞が関1-3-1

氏 名

独立行政法人産業技術総合研究所